

Alexi Leimu

Lauhdelämpöpumppu välillisessä kylmäjärjestelmässä

Lämpöpumpputekniikan hyödyntäminen jäähallien kylmäkoneistojen lauhdelämmön talteenotossa

Opinnäytetyö

Syksy 2015

SeAMK Tekniikka

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikka

Tutkinto-ohjelma: Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: LVI-tekniikka

Tekijä: Aleksi Leimu

Työn nimi: Lauhdelämpöpumppu välillisessä kylmäjärjestelmässä

Ohjaaja: Vesa Vierikko, Marita Viljanmaa

Vuosi: 2015

Sivumäärä: 34

Liitteiden lukumäärä: 2

Tämä opinnäytetyö käsittelee jäähallien kylmäkoneistojen lauhde-energian hyödyntämistä lauhdelämpöpumpun avulla.

Kokonaisuuden hahmottamiseksi työ esittelee lyhyesti jäähallin tekniikkaa ja lauhdelämmön talteenotossa yleisesti käytettyjä muotoja, sekä niiden ongelmia, jotka voidaan lämpöpumpputekniikalla ratkaista.

Työn tavoite on selventää lauhdelämpöpumpun toimintaperiaate ja hyödyt.

Työ toteutettiin yhteistyössä kylmäkoneistoja valmistavan yrityksen Suomen Tekojää Oy:n kanssa.

Avainsanat: Jäähalli, kylmätekniikka, lämpöpumppu, lauhde-energia

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: HVAC Technology

Author: Aleksi Leimu

Title of thesis: Heat recovery with heat pump in refrigeration systems.

Supervisors: Vesa Vierikko, Marita Viljanmaa

Year: 2015

Number of pages: 34

Number of appendices: 2

The thesis covers the basics of the heat recovery technology of an ice arena. The heat recovery heat pump is in the main focus. In order to get a better understanding of the main topic, the thesis also includes an introduction to ice arena technology.

The idea of the heat recovery heat pumps is to raise the temperature of the condensate liquid to a higher level, which then can be used for high temperature warming systems, for example hot water or radiator systems.

The target of the thesis was to explain the principles of condensate heat pumps and the benefits of using them.

The thesis was made in co-operation with the refrigeration system manufacturer Suomen Tekojää Oy.

Keywords: Ice arena, Refrigeration, Heat pump, Heat recovery

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	1
Thesis abstract.....	2
SISÄLTÖ	3
Kuvio- ja kuvaluettelo	5
Käytetyt termit ja lyhenteet	7
1 JOHDANTO	8
1.1 Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet.....	8
1.2 Suomen Tekojää Oy	8
2 JÄÄHALLIT SUOMESSA	10
2.1 Yleistä jäähalleista	10
2.2 Energiatehokkuus	10
3 JÄÄHALLIEN TEKNIikka.....	12
3.1 Kylmätekniikka	13
3.2 Lämmitysjärjestelmät	14
3.3 Ilmanvaihto.....	15
3.3.1 Ilman kuivaus.....	16
4 LAUHDELÄMMÖN HYÖDYNTÄMINEN JÄÄHALLEISSA.....	18
4.1 Tulistusvaihdin	18
4.2 Alijäähdytin.....	18
4.3 LTO-vaihtimet	18
4.4 Routasuojaus	19
4.5 Ilmanvaihdon lämmitys	19
4.6 Muut matala LTO-kohteet	19
5 LAUHDELÄMPÖPUMPPU.....	20
5.1 Toimintaperiaate ja pääkomponentit	22
5.2 Kompressori.....	23
5.3 Lauhdutin	25
5.4 Paisuntaventtiili	25
5.5 Käytetyt kylmäaineet.....	25
5.6 Tehon tarve.....	26

5.7 COP	27
6 LAUHDELÄMPÖPUMPPU LÄMMITYSJÄRJESTELMISSÄ	28
6.1 Käyttövesi	30
6.2 Nestekiertoiset lämmitysjärjestelmät	30
6.3 Kaukolämpö	31
6.4 Sähkölämmitys	31
7 POHDINTA	32
LÄHTEET	33
LIITTEET	34

Kuvio- ja kuvaluettelo

Kuvio 1. Suomen Tekojää Oy:n referenssikohteita Euroopassa.	9
Kuvio 2. EU:n energiatehokkuustavoitteet. (Laitinen A. VTT. Energiasäädösten vaikutus jäähallirakentamiseen. Jäähallipäivät. 15.4.2015.)	11
Kuvio 3. Jäähallin tekniikkaa.	12
Kuvio 4. Lämpöpumpun putkikaavio.	22
Kuvio 5. Bitzer kompressorin (Bitzer, [viitattu 7.11.2015]).....	23
Kuvio 6. Mäntäkompressorin mitoitusajo R134a kylmäaineella 100kW laudelämpöpumpulle (Bitzer, [Viitattu 7.11.2015]).....	24
Kuvio 7. Lauhdelämpöpumpun toimintakaavio.....	27
Kuvio 8. Lauhdelämpöpumppu tulistusvaihtimella liitettynä lämmitysverkostoon..	28
Kuvio 9. Jäähallin energiankulutusseuranta.....	29
Kuva 1. Suomen Tekojää Oy:n toimitilat.	8
Kuva 2. Jäähallin kylmätekniikkaa kylmäkoneistokontissa.....	14
Kuva 3. Energiavaraaja ja lämmitysjärjestelmän tekniikkaa kylmäkoneistokontissa.	15
Kuva 4. Jäähallin ilmanvaihtokoneisto tekniikkakontissa.	16
Kuva 5. Sorbtiokuivain.	17
Kuva 6. Kondenssikuivaus ilmanvaihtokoneen jäähdytyspatterilla.....	17
Kuva 7. ST100HP R134a lauhdelämpöpumppu.	21
Kuva 8. ST200HP R410A lauhdelämpöpumppu.....	21

Kuva 9. ST100HP lauhdelämpöpumppu kytkettynä energiavaraajaan.	30
---	----

Käytetyt termit ja lyhenteet

COP	Lämpöpumpun tehokkuuden mitta
LTO	Lämmön talteenotto
Matala LTO	Lämmön talteenotto, jonka lämpötila alle +50 celsius astetta
Korkea LTO	Lämmön talteenotto, jonka lämpötila yli +50 celsius astetta
K	Lämpötilan yksikkö, Kelvin astetta
kW	Tehon yksikkö, Kilowatti = 1000 wattia
MWh	Energian yksikkö, Megawattitunti = 1000kWh

1 JOHDANTO

1.1 Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet

Jäähallien kylmäkoneistot tuottavat runsaasti lauhdelämpöä, jota pystytään hyödyntämään osana hallin lämmitys- ja talotekniikkajärjestelmää. Tässä opinnäytetyössä käsitellään lauhdelämpöpumpun käyttöä lauhde-energian hyödyntämisessä. Tämän työn tarkoituksena on selventää lauhdelämpöpumpun toimintaperiaate, hyödyt ja energiansäästömahdollisuudet. Työssä käsitellään myös pintapuolisesti muut lauhde-energian hyödyntämiseen yleisesti käytetyt käyttökohteet sekä jäähallin tekniikkaa.

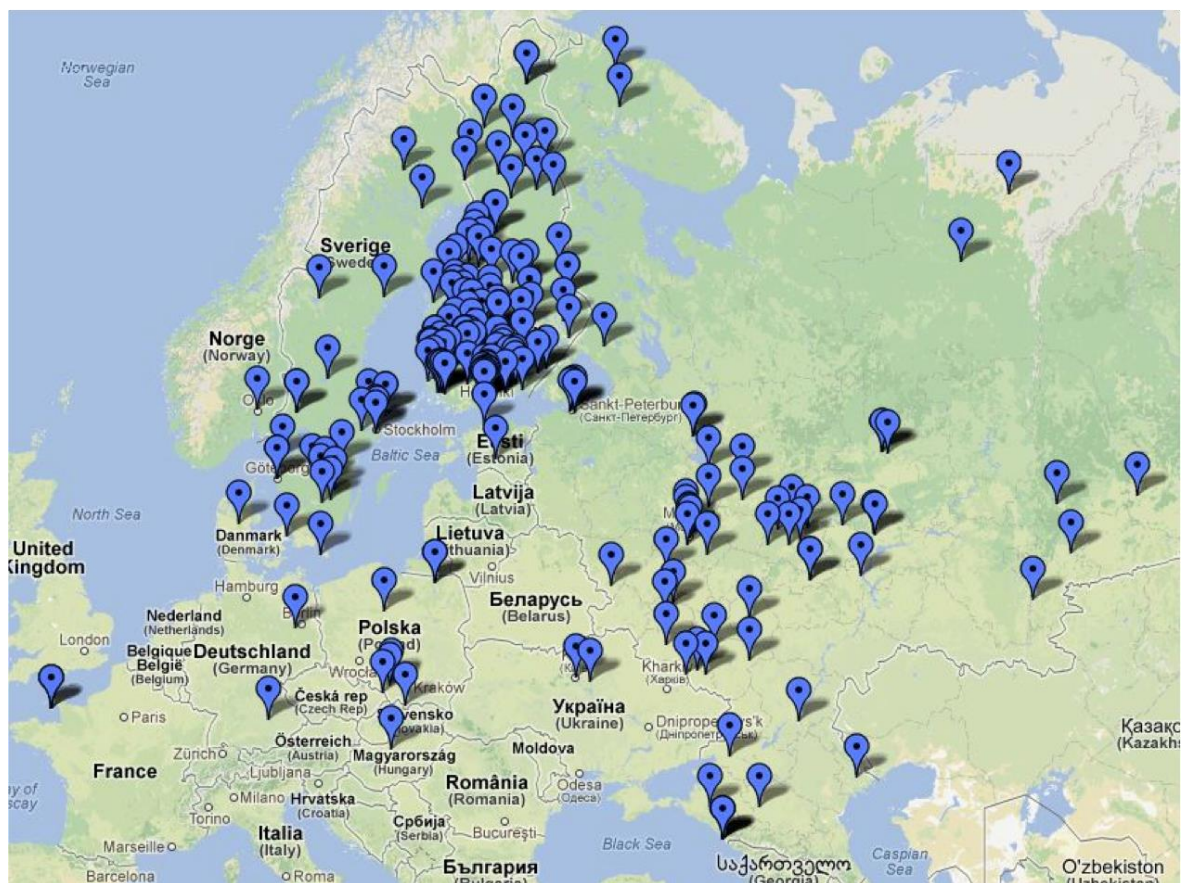
1.2 Suomen Tekojää Oy



Kuva 1. Suomen Tekojää Oy:n toimitilat.

Työ toteutettiin yhteistyössä Suomen Tekojää Oy:n kanssa. Yritys kuuluu Suomen suurimpiin teollisen kylmätekniikan valmistajiin. Suomen Tekojää Oy on toimittanut vuodesta 1997 alkaen kylmäkonejärjestelmiä jo lähes 500 kohteeseen ympäri maailman (kuvio 1.). Päämarkkina-alueena toimii Suomi, Ruotsi ja Venäjä. Yrityksen pe-

rustaja Timo Mansikkaviita toimii edelleen yrityksen toimitusjohtajana. Suomen Tekojää Oy työllistää noin 20 henkilöä tehtaalla (kuva 1.) Parkanossa. (Suomen Tekojää Oy)



Kuvio 1. Suomen Tekojää Oy:n referenssikohteita Euroopassa.

2 JÄÄHALLIT SUOMESSA

2.1 Yleistä jäähalleista

Suomessa oli vuonna 2010 käytössä 217 jäähallia. Yksirataisten harjoitusjäähallien sähköenergian kulutus vaihtelee välillä 300 – 1000 MWh vuodessa mikä vastaa jopa 30 tavallisen omakotitalon sähköenergian vuosikulutusta. Jäähalleissa piileekin valtava energiansäästöpotentiaali. (TKK/RY/ATK. Jäähallien energiatehokkuuden nykytilatutkimusraportti.)

2.2 Energiatehokkuus

Jäähallin rakentaminen on teknisesti ja taloudellisesti vaativa hanke. Teknistä vaativuutta lisää se, että jäärataa ylläpidetään puolilämpimässä tilassa, joka rajautuu lämpimiin sisätiloihin ja ulkoilmaan. Jäätä ylläpitävä kylmätekniikka kuluttaa noin puolet jäähallin sähköenergiasta. Lisäksi jäärata jäähdyttää hallitilaa jolloin vastavasti joudutaan lämmittämään suurella teholla hallin lämpimiä tiloja. Tämä kuluttaa suurimman osan hallin tarvitsemasta lämmitysenergiasta. EU:n direktiivien mukaan rakentamista onkin vietävä energiatehokkaampaan suuntaan (kuvio 2.). Tavoitteena on, että vuonna 2020 energiatehokkuus on parantunut 20%, uusiutuvien energialähteiden käyttö lisääntynyt 20% ja kasvihuonepäästöt laskeneet 20%. (TKK, Suomen jääkiekkoliitto ja Opetusministeriö. Jäähallisuunnittelun energianäkökulma.)

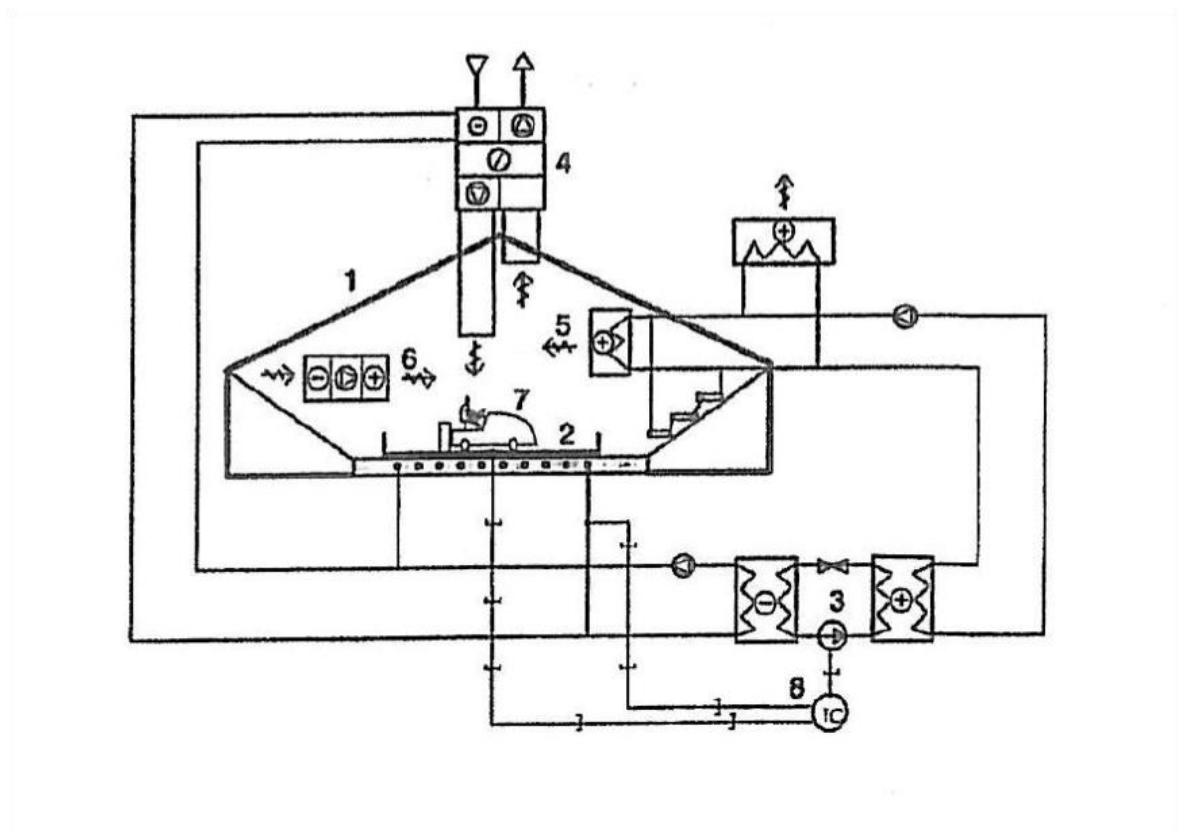


Kuvio 2. EU:n energiatehokkuustavoitteet. (Laitinen A. VTT. Energiasäädösten vaikutus jäähallirakentamiseen. Jäähallipäivät. 15.4.2015.)

3 JÄÄHALLIEN TEKNIikka

Jäähallien tekniikka muodostuu kylmätekniikan, lämmitystekniikan, sekä ilmanvaihto- ja talotekniikan muodostamasta kokonaisuudesta. Kuviossa 3. on esitetty periaatepiirustus jäähallin tekniikasta:

1. Rakenteet 2. Rataputkisto/jää 3. Kylmäkoneisto 4. Ilmanvaihto 5. Lämmitys 6. Ilman kuivaus 7. Jäänhoito 8. Energiamittaus



Kuvio 3. Jäähallin tekniikkaa.

3.1 Kylmätekniikka

Kylmätekniikalla tarkoitetaan jäähallien kylmäkoneiston, ratasiirtoputkistojen, rata-alueen putkistojen ja tarvittavien apulaitteiden muodostamaa kokonaisuutta. Kylmäkoneiston osuus jäähallien energiataloudesta on merkittävä. Kylmätekniikan vaatima sähköenergian kulutus voi olla jopa yli 50% koko jäähallin tarvitsemasta sähköenergiasta. Kylmäkoneiston hyvällä suunnittelulla ja rakentamisella, sekä käytöllä ja säädettävyydellä voidaan merkittävästi vaikuttaa koneiston energian kulutukseen. (Suomen Tekojää Oy)

Kuvassa 2. on esitetty harjoitusjäähallin kylmätekniikkaa erillisessä tekniikkakontissa. Kohteessa on kylmäteholtaan noin 300kW ammoniakikylmäkoneisto kahdella ruuvikompressorilla, välillisellä lauhdutuksella ja märkähöyrystimellä.



Kuva 2. Jäähallin kylmätekniikkaa kylmäkoneistokontissa.

3.2 Lämmitysjärjestelmät

Jäähallin lämmitysjärjestelmää valittaessa on pyrittävä aina mahdollisimman energiatehokkaaseen ratkaisuun. Tämä edellyttää mahdollisimman tehokasta lauhdelämmön hyödyntämistä lämmityksessä. Lauhde-energiaa voidaan käytännössä pitää ilmaisenergiana, koska se syntyy jään tekemiseen käytetyn energian sivutuotteena. (Jäähallien lämpö- ja kosteustekniikka, 97.)

Kuvassa 3. on jäähallin lämmönjakokeskus sijoitettuna yhteiseen tekniikkakonttiin kylmäkoneiston kanssa. Kuvassa etualalla oleva lauhdelämpöpumppu lataa energiavaraajaa. Taustalla lämmönjakoputkistoa ja kaukolämpövaihtimet.

Lämmitysjärjestelmiä on käsitelty tarkemmin kappaleessa 6.



Kuva 3. Energiavaraaja ja lämmitysjärjestelmän tekniikkaa kylmäkoneistokontissa.

3.3 Ilmanvaihto

Harjoitusjäähallien halliosan ilmanvaihtoon käytetään yleisesti ilmamäärältään $4\text{m}^3/\text{s}$ ($\pm 2\text{m}^3/\text{s}$) olevaa tulo-, poisto- ja kiertoilmanvaihtojärjestelmää (kuva 4). Ilmanvaihtokoneen koko määräytyy henkilömitoituksen tai vaihtoehtoisesti ilmalämmityksen vaatiman tilavuusvirran mukaan. (Jäähallien lämpö- ja kosteustekniikka, 103.)



Kuva 4. Jäähallin ilmanvaihtokoneisto tekniikkakontissa.

3.3.1 Ilman kuivaus

Kosteuskuormien hallitsemiseksi jäähallien sisäilmaa on kuivattava. Varsinkin jos jääaika ulottuu pitkälle kevääseen lisääntyy kuivauksen tarve huomattavasti johtuen ulkoilman suuresta kosteuskuormasta. Yleensä ilman kuivaamiseen käytetään sorbtio- (kuva 5.) tai kondenssikuivainta (kuva 6.) . Ilmankuivain mitoitetaan lämpimimmän käyttökuukauden kosteuskuorman mukaan. Tällöin merkittäväksi tekijäksi muodostuu se missä vaiheessa tuloilmaa kuivataan. Jos tuloilma sekoitetaan kiertoilmaan ennen kuivatusta ilman lämpötila laskee ja kuivatusteho alenee. Suoralla tuloilman kuivatuksella päästään yleensä parempaan lopputulokseen. (Jäähallien lämpö- ja kosteustekniikka, 9.)



Kuva 5. Sorbtiokuivain.



Kuva 6. Kondenssikuivaus ilmanvaihtokoneen jäähdytyspatterilla.

4 LAUHDELÄMMÖN HYÖDYNTÄMINEN JÄÄHALLEISSA

Lauhdelämmön hyödyntämisen edellytyksenä on riittävä ja mahdollisimman ympärivuotinen lämmitysenergian tarve. Lauhdelämmön talteenoton kannattavuustarkastelujen pohjana pidetään koko kohteen energiajärjestelmää. Kannattavuustarkasteleissa valintakriteereinä ovat muun muassa vuosittainen käyttöaika, mahdollisimman suuri lämmön säästö, energiakustannusten säästö, hankintahinta, käyttövarmuus, omistussuhteet sekä lisäenergian hinta. (Hakala & Kaappola 2013, 217-218.)

4.1 Tulistusvaihdin

Lauhdelämpöä voidaan hyödyntää kylmäainepiirin painelinjaan asennettavalla tulistuksenpoistovaihtimella. Kylmäaineesta riippuen tulistusvaihtimella voidaan säästää noin 40-70 celsiusasteen lämpöistä vettä. Tätä pystytään hyödyntämään niin sanottuihin korkea-LTO kohteisiin kuten käyttöveden lämmitykseen. Ongelmana tulistusvaihtimessa on kuitenkin sen pieni teho. Tulistuslämmön osuus koko lauhdeenergiasta on vain noin 10-20%. (Hakala & Kaappola 2013, 217.)

4.2 Alijäähdytin

Alijäähdyttimellä tarkoitetaan lämmönsiirrintä, jonka avulla nesteenä olevasta kylmäaineesta otetaan lämpöä esimerkiksi imukaasun tulistamiseen (LVI 11-10332 2002, 2).

4.3 LTO-vaihtimet

LTO-vaihtimia käytetään välillisissä jäähdytysjärjestelmissä, joissa osa tai koko lauhdenesteen virtaus ohjataan lämmönvaihtimen läpi. Vaihdin piirejä ohjataan automatisoidusti säätöventtiilien avulla, jotta lauhdeneste ei pääse liian kylmäksi. LTO-vaihtimet kytketään yleisesti rinnan ulkolauhduttimen kanssa. LTO-vaihtimien tuot-

tama lämpö pystytään hyödyntämään matala-LTO kohteissa kuten lattialämmityksessä. Ongelmana LTO-vaihtimissa on matala lämpötilataso. Jos lauhtumislämpötilaa nostettaisiin korkeamman lauhdelämmön toivossa, jo noin 3K lauhdelämpötilan nosto laskee laitoksen kylmäkerrointa noin 9%. (Suomen Tekojää Oy)

4.4 Routasuojaus

Routasuojauksen tarkoituksena on estää jäähallin alapuolisen maaperän routiminen jään aiheuttama lämpöjohtumisen seurauksena. Jäähallin rataalaan ja routeristuksen alla kiertävän routasuojaputkiston lämmittämiseen käytetään hyvin yleisesti lauhdeliuoksen energiaa. Routasuojapiirin matalan lämpötilan vuoksi matalalämpöinen lauhdeliuos soveltuu oivallisesti routapiirin lämmönlähteeksi. Routasuojapiirillä on oma pumppu ja säätöventtiili, joita ohjataan piiristä palaavan liuoslämpötilan mukaan. (Suomen Tekojää Oy)

4.5 Ilmanvaihdon lämmitys

Osa tai koko lauhtenesteen virtaus voidaan säätöventtiilien avulla ohjata ilmanvaihdekoneen lämmityspatterille. Tällöin lauhde energiaa voidaan käyttää tuloilman esilämmitykseen. Ongelmana tässä, kuten muissakin matala-LTO kohteissa on matala lämpötilataso. (Suomen Tekojää Oy)

4.6 Muut matala LTO-kohteet

Lauhde energiaa voidaan jäähalleissa hyödyntää myös muun muassa ulkotilojen, kuten sisäänkäyntien ja piha-alueiden lämmitykseen, sekä sulana pitoon. Myös kat-somoiden penkkejä ja kaiteita on lämmitetty lauhde-energialla näiden toimiessa samalla hallin "lämmityspattereina". Näissä, kuten muissakin LTO-piireissä on otettava huomioon liuosvirtausten säätömahdollisuudet, jotta lauhtenesteen paluuliuos ei pääse liian kylmäksi. Yleinen toteutustapa LTO-piireille on oma säätöpiiri, jossa 3-tie tai 2-tieventtiilit säätävät liuosvirtoja lämpötilojen mukaan. (Suomen Tekojää Oy)

5 LAUHDELÄMPÖPUMPPU

Lauhdelämpöpumpun ideana on korottaa matalalämpöinen lauhdeliuoksen sisältämä energia korkeampaan lämpötilaan hyvällä hyötysuhteella. Tällä mahdollistetaan lauhde-energian tehokkaampi hyödyntäminen korkeaa lämpötilaa vaativissa kohteissa, jolloin ostoenergian tarve vähenee huomattavasti. Lauhdelämpöpumppu mitoitetaan yleisesti osatehoiseksi, noin 50-70% huipputehosta. Todellisuudessa sillä saadaan tuotettua kuitenkin jopa 90-100% jäähallin tarvitsemasta lämmitystehosta, koska erittäin kylmää on yleensä suhteellisen vähän aikaa. Lauhdelämpöpumppu tarvitsee silti rinnalleen lisälämmönlähteen tasoittamaan kulutushuippuja. Yleisesti lisälämpönä käytetään kaukolämpöä tai sähköä. (Suomen Tekojää Oy)

Kuvassa 7. on mäntäkompressorilla varustettu lämmitysteholtaan noin 100kW lauhdelämpöpumppu. Kylmäaineena R134a. Kuvassa 8. puolestaan scroll-kompressorilla toteutettu noin 200kW lämpöpumppu R410A kylmäaineella.



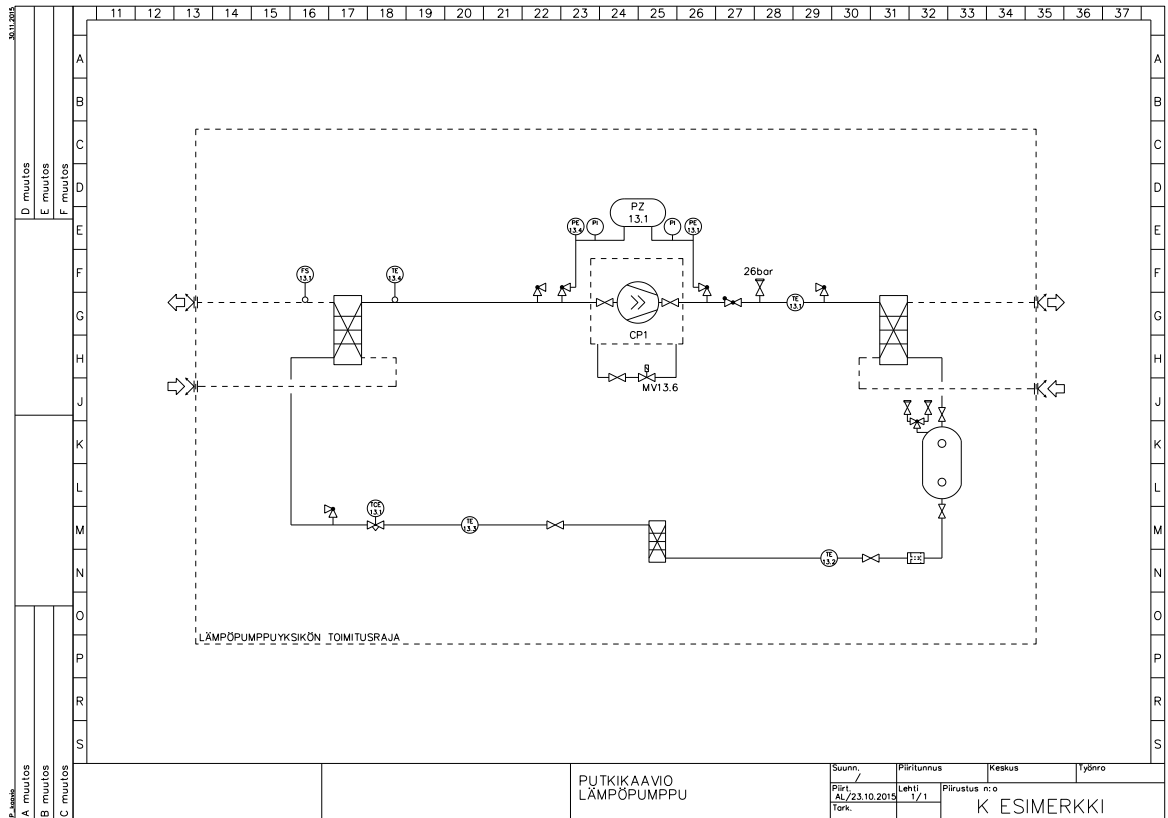
Kuva 7. ST100HP R134a lauhdelämpöpumppu.



Kuva 8. ST200HP R410A lauhdelämpöpumppu.

5.1 Toimintaperiaate ja pääkomponentit

Lauhdelämpöpumpun toimintaperiaate on täysin verrattavissa mihin tahansa muuhun lämpöpumppuun (kuvio 4.). Toiminta perustuu, kuten myös kylmäkoneissa, koneistossa kiertävän kylmäaineen höyrystymiseen ja lauhtumiseen.



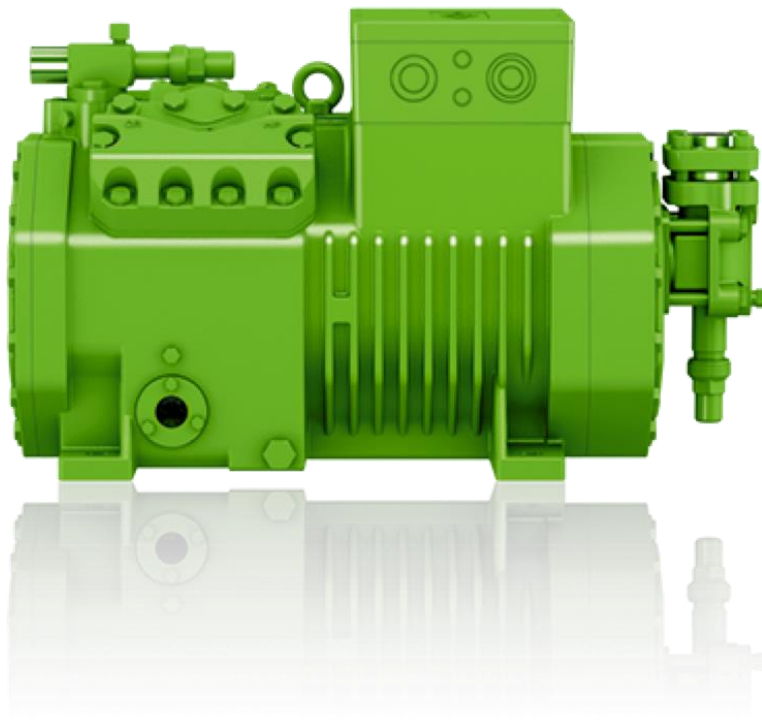
Kuvio 4. Lämpöpumpun putkikaavio.

Lauhdelämpöpumpun höyrystimessä kylmäaine höyrystyy sitoen lämpöä kylmäkoneiston lauhtenesteestä jäähdyttäen sitä. Lauhdelämpöpumpun höyrystin toimii siis ikään kuin kylmäkoneiston lauhtuttimena.

Höyrystimen jälkeen kompressori imee höyrystyneen kylmäaineen ja puristaa sen korkeampaan paineeseen, jolloin kylmäainehöyry lämpenee.

Lauhduttimessa kylmäaine nesteytyy luovuttaen samalla lämpöä lauhtuttimen toisiopuolella kiertävään nesteeseen. Lauhduttimen jälkeen nesteessä oleva kylmäaine johdetaan paisuntaventtiilin kautta takaisin höyrystimelle. (Hakala & Kaappola 2013, 230.)

5.2 Kompressorit

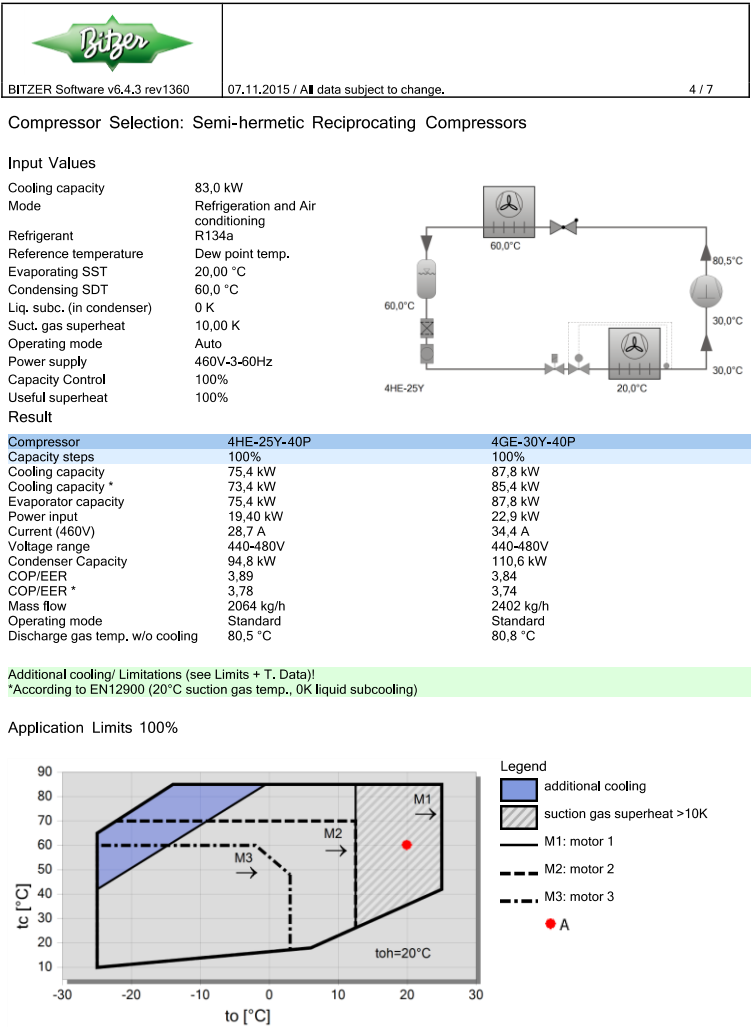


Kuvio 5. Bitzer kompressorit (Bitzer, [viitattu 7.11.2015]).

Lämpöpumpuissa kompressorit ylläpitää kylmäaineen kiertoa puristamalla kaasumuodossa olevan kylmäaineen korkeampaan paineeseen. Tällöin kompressorin tekemän työn energia siirtyy kylmäaineeseen, jolloin kylmäaine tulistuu ja lämpenee voimakkaasti. (LVI 11-10332 2002, 2.)

Lauhdelämpöpumpun kompressorin valintaan ensisijaisesti vaikuttava tekijä on lämpökerroin. Muita valintakriteereitä ovat esimerkiksi hinta, kestävyys, tilan tarve ja äänitaso. Lauhdelämpöpumpuissa käytetään noin 100kW asti hermeettisiä mäntä- ja scroll-kompressoreita. Suuremmilla tehoilla käytetään yleisimmin puolihermeettisiä mäntäkompressoreita. (Hakala & Kaappola 2013, 231.)

Kompressorin valintaan on myös käytettävissä erilaisia työkaluja kuten valmistajien omia valintaohjelmistoja. Kuviossa 6. on esitetty esimerkki Bitzer merkkisen kompressorivalmistajan valintaohjelmistolla tehdystä mitoitusajosta. Lämmitystehoksi halutaan noin 100kW, kylmäaineeksi R134a, höyrystyslämpötilaksi 20 celsiusastetta ja lauhtumislämpötilaksi 60 celsiusastetta.



Kuvio 6. Mäntäkompressorin mitoitusajo R134a kylmäaineella 100kW laudelämpöpumpulle (Bitzer, [Viitattu 7.11.2015]).

5.3 Lauhdutin

Lauhdutin on lämmönvaihdin, jossa tulistunut kuumakaasu lauhtuu nesteeksi luovuttaen höyrystimessä sitomansa energian lauhduttimen toisiopiirissä kiertävään aineeseen, yleensä lämmitysverkoston veteen (LVI 11-10332 2002, 2.).

Lauhdelämpöpumpun lauhduttimena käytetään pääsääntöisesti levylämmönvaihtimia niiden pienen tilantarpeen ja hintalaatusuhteen vuoksi. Lämpöpumpun lämpökerrointa voidaan myös parantaa asentamalla alijäähdytin nestelinjaan, jos sen tuottama lämpö on mahdollista hyödyntää. (Hakala & Kaappola 2013, 231.) Alijäähdytyksen osuus lauhde-energiasta on kuitenkin vain 0-5% joten sen kannattavuutta tulee harkita projektikohtaisesti (Suomen Tekojää Oy).

5.4 Paisuntaventtiili

Paisuntaventtiili on kylmäainepiirin nestelinjassa oleva säädettävä paineenalennusventtiili, jossa korkeammassa paineessa oleva nestemäinen kylmäaine laskee alempaan kompressorin imupuolen paineeseen (LVI 11-10332 2002, 2).

Jäähalleissa käytettävissä teollisen kokoluokan (>100kW) lauhdelämpöpumpuissa käytetään lähes poikkeuksetta elektronista paisuntaventtiiliä (Suomen Tekojää Oy). Elektroninen paisuntaventtiili pystyy mukautumaan mekaanista venttiiliä paremmin muuttuviin olosuhteisiin ja niillä saavutetaan mahdollisimman vakaa tulistus (Hakala & Kaappola 2013, 231-232).

5.5 Käytetyt kylmäaineet

Lämpöpumpun kylmäaineen valinta vaikuttaa suoraan koneiston lämpökertoimeen, käyntipaineisiin ja esimerkiksi tulistuslämmön osuuteen. Yleisesti käytössä olevat

kylmäaineet ovat R410A, R134a, R407C, R404A ja R507A. (Hakala & Kaappola 2013, 232.)

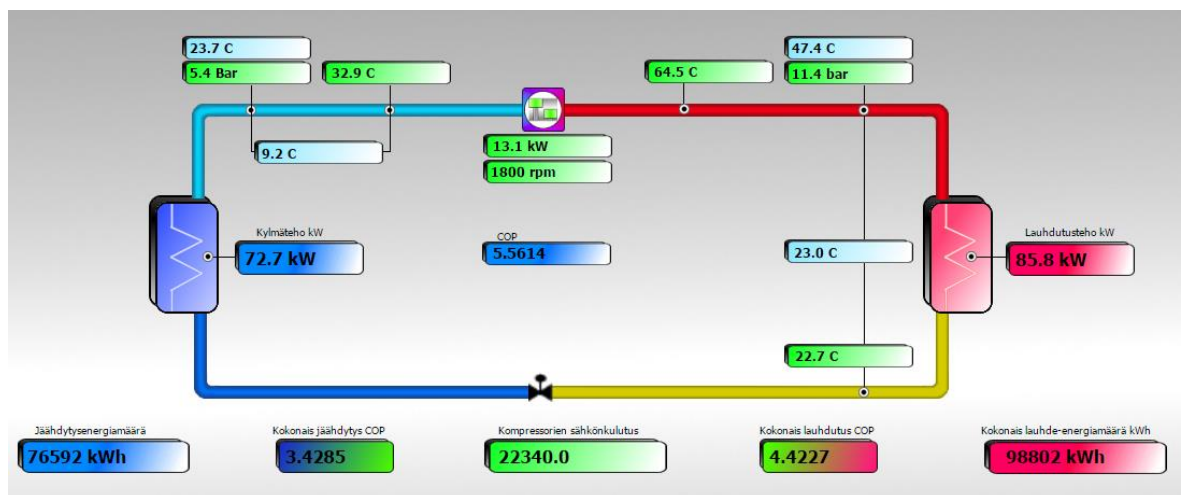
5.6 Tehon tarve

Lämpöpumpun tehon tarve tulee selvittää projektikohtaisesti. Tähän vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi kylmäkoneiston tuottaman lauhde-energian määrä, lämmitysjärjestelmän tehon tarve, mitoitusperusteet ja kannattavuuslaskelmat. Yleisesti harjoitusjäähalleissa käytettävien lauhdelämpöpumppujen teho on luokkaa 100kW – 200kW. (Suomen Tekojää Oy)

5.7 COP

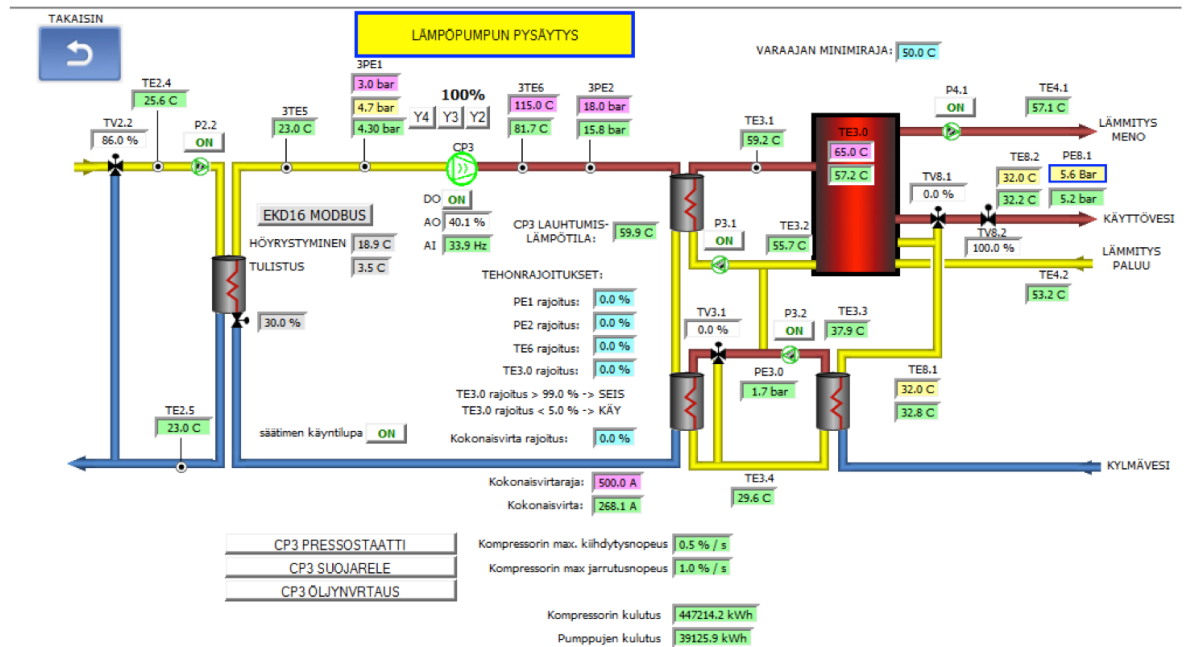
COP (coefficient of performance) on lämpöpumpun tehokkuuden mitta. Se kertoo paljonko lämpöpumppu tuottaa lämpöenergiaa siihen vietyä sähköenergiaa kohti. (SULPU).

Esimerkiksi alla olevassa kuviossa 7. on esitetty lauhdelämpöpumpun hetkellisiä toiminta-arvoja. Kuvasta nähdään, että kompressorin kuluttama hetkellinen sähköenergia on 13,1kW. Lämpöpumpun tuottama lauhduttimen hyötysuhde (lauhdutus COP) saadaan laskettua jakamalla hetkellinen lauhdutusteho (85,8 kW) kompressorin kuluttamalla sähköenergialla (13,1 kW). Tällöin lauhdutus COP on $85,8 \text{ kW} / 13,1 \text{ kW} = 6,5$. Vastaavasti jäähdytys COP saadaan jakamalla höyrystimen hetkellinen teho (72,7 kW) kompressorin kuluttamalla sähköenergialla. Tällöin jäähdytys COP on $72,7 \text{ kW} / 13,1 \text{ kW} = 5,5$.



Kuvio 7. Lauhdelämpöpumpun toimintakaavio.

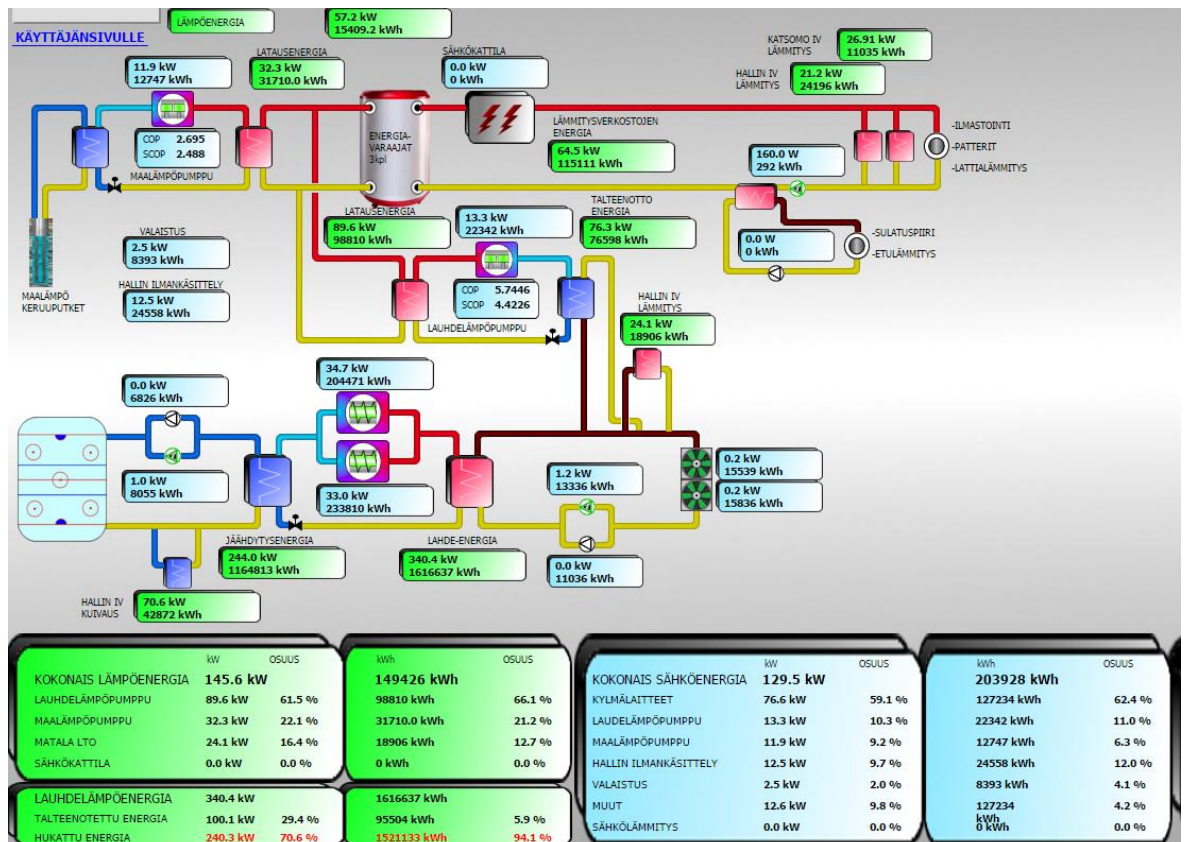
6 LAUHDELÄMPÖPUMPPU LÄMMITYSJÄRJESTELMISSÄ



Kuvio 8. Lauhdelämpöpumppu tulistusvaihtimella liitettyä lämmitysverkoston.

Lauhdelämpöpumpulla saadaan tuotettua hetkellisesti jopa 100% jäähallin tarvitse-
masta energian tarpeesta. Lauhde-energiaa on saatavilla kuitenkin vain jäähallin
kylmäkoneistojen käydessä, joten lauhdelämpöpumppu tulee kytkeä rinnan jonkin
toisen lämmitysmuodon kanssa. Yleisimmin lauhdelämpöpumpun energiavaje prii-
mataan joko sähköllä tai kaukolämmöllä. Lauhdelämpöpumppu voidaan kytkeä
myös esimerkiksi maalämpöpumpun rinnalle.

Kuviossa 9. on esitetty erään kohteen toimintakaavio, josta voidaan seurata koko
jäähallin tekniikan energian kulutusta ja toiminta-arvoja. Tässä kohteessa lauhde-
lämpöpumppu on kytketty rinnan maalämpöpumpun kanssa ja tarvittava energia-
vaje priimataan tarvittaessa sähkökattilalla. (Suomen Tekojää Oy)



Kuvio 9. Jäähallin energiankulutusseuranta.



Kuva 9. ST100HP lauhdelämpöpumppu kytkettynä energiavaraajaan.

6.1 Käyttövesi

Lauhdelämpöpumpun tuottamalla lämpöenergialla voidaan esilämmittää ja hetkellisesti jopa kattaa kokonaan käyttöveden vaatima lämmitysenergian tarve. Kuvassa 9. lauhdelämpöpumppu lataa energiavaraajaa/lämminvesivaraajaa, johon on asennettu käyttövesikierukka. Kytkentäesimerkki on liitteessä 1.

6.2 Nestekiertoiset lämmitysjärjestelmät

Lauhdelämpöpumpun kytkentä nestekiertoisiin lämmitysjärjestelmiin kuten patteriverkostoihin, lattialämmityspiireihin, puhallinpattereihin, ilmanvaihtokoneen lämmityspattereille tai vastaaviin tapahtuu energiavaraajan välityksellä (kytkentäesimerkki kuviossa 8.). Lämmityspiirit varustetaan omilla pumpuillaan, säätöventtiileillään

sekä mittauspisteillään. Tällöin kunkin lämmityspiirin lämpötilat ja virtaamat pystytään säätämään suunnitelmien mukaisiksi.

6.3 Kaukolämpö

Kaukolämpö on jäähalleissa yleisesti käytössä oleva lämmitysmuoto. Lauhdelämpöpumppu kytketäänkin usein kaukolämmön kanssa sarjaan. Jos energiavaraajasta lähtevän liuoksen lämpötila on asetusarvoa pienempi kaukolämpövaihdin lämmittää eli priimaa liuoksen haluttuun lämpötilaan. Tällöin lämpöpumppu toimii ensisijaisena lämmönlähteenä ja kaukolämpö toissijaisena. KytKentäesimerkki on liitteessä 2.

6.4 Sähkölämmitys

Toinen yleisesti käytetty varalämmönlähde lauhdelämmön rinnalla on sähkölämmitys. Tällöin energiavaraajaan kytketään sähkövastuksia tai järjestelmään asennetaan erillinen sähkökattila. Näiden avulla varaajan lämpötila priimataan aina asetusarvoonsa, vaikka lämpöpumpun tuottama lämpöenergia ei riittäisikään saavuttamaan sitä. (Suomen Tekojää Oy)

7 POHDINTA

Lauhde-energian tehokas hyödyntäminen on ensiarvoisen tärkeää, koska sillä on saavutettavissa merkittäviä energian säästöjä. Sen tehokas hyödyntäminen aiheuttaa kuitenkin haasteita. Merkittävin haaste on lauhde-energian matala lämpötila. Normaaleissa harjoitusjäähalleissa lauhdutinnesteen lämpötila ei riitä yksin lämmittämään esimerkiksi lämmintä käyttövedtä tai patteriverkostoa. Tällöin lämmitystilanteessa tarvitaan aina ostoenergiaa eli yleensä sähköä tai kaukolämpöä.

Lauhdelämpöpumpun etuna on, että sillä pystytään vähentämään ostoenergian tarvetta. Vaikkakin lauhdelämpöpumpun kompressorin ja liuospumput itsessään kuluttavat sähköä, toimii lämpöpumppu niin hyvällä hyötysuhteella (COP), että sen avulla voidaan saavuttaa merkittäviä energian säästöjä.

Kuviossa 9. on kuvakaappaus erään jäähallikohteen energian seurannasta normaali käyttötilanteessa. Kohteessa on lämmönlähteinä lauhdelämpöpumppu, maalämpöpumppu ja sähkökattila. Energianseurannasta voidaan todeta, että niin hetkellisessä kuin pidemmän aikavälin seurannassa lauhdelämpöpumpun hyötysuhde on ollut noin kaksi kertaa parempi kuin maalämpöpumpulla, eikä sähkölämmitystä ole tarvittu ollenkaan.

Lauhdelämpöpumpun merkittävimpinä etuina voidaan pitää lauhdelämmön hyödyntämistä myös suurta tehoa sekä korkeaa lämpötilaa vaativiin kohteisiin kuten lämpimän käyttöveden tuottamiseen. Harjoitusjäähalleissa joissa käyttöaste on suuri, lauhdelämpöpumpun asentaminen on mielestäni ehdottomasti järkevää.

LÄHTEET

Hakala, P. & Kaappola, E. 2013. Kylmälaitoksen suunnittelu. Helsinki: Opetushallitus.

Jäähallien lämpö- ja kosteustekniikka. 2007. Jäähallien lämpö- ja kosteustekniikka: suunnittelu- ja rakennuttamisopas. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Jäähallien energiatehokkuuden nykytilatutkimusraportti. Ei päiväystä. Suomen Jääkiekkoliitto. [Verkojulkaisu]. [Viitattu 25.9.2015]. Saatavilla: <http://finhockey-fi-bin.directo.fi/@Bin/5dfe89ddd942e2d9ba4cd39f9b108ec6/1446280869/application/pdf/760453/Jaahallienenergiatehokkuudennykytilatutkimusraportti.pdf>

Jäähallin hankesuunnittelun alkuvaiheen päätösten energiatehokkuusnäkökulma. Ei päiväystä. Suomen jääkiekkoliitto. [Verkojulkaisu]. [Viitattu 27.9.2015]. Saatavilla: <http://finhockey-fi-bin.directo.fi/@Bin/c25e1f1ef4e7ca25309707f85deab796/1446280970/application/pdf/760450/Jaahallinsuunnittelunenergianakokulma.pdf>

LVI 11-10332. 2002. Lämpöpumput. Helsinki: Rakennustieto.

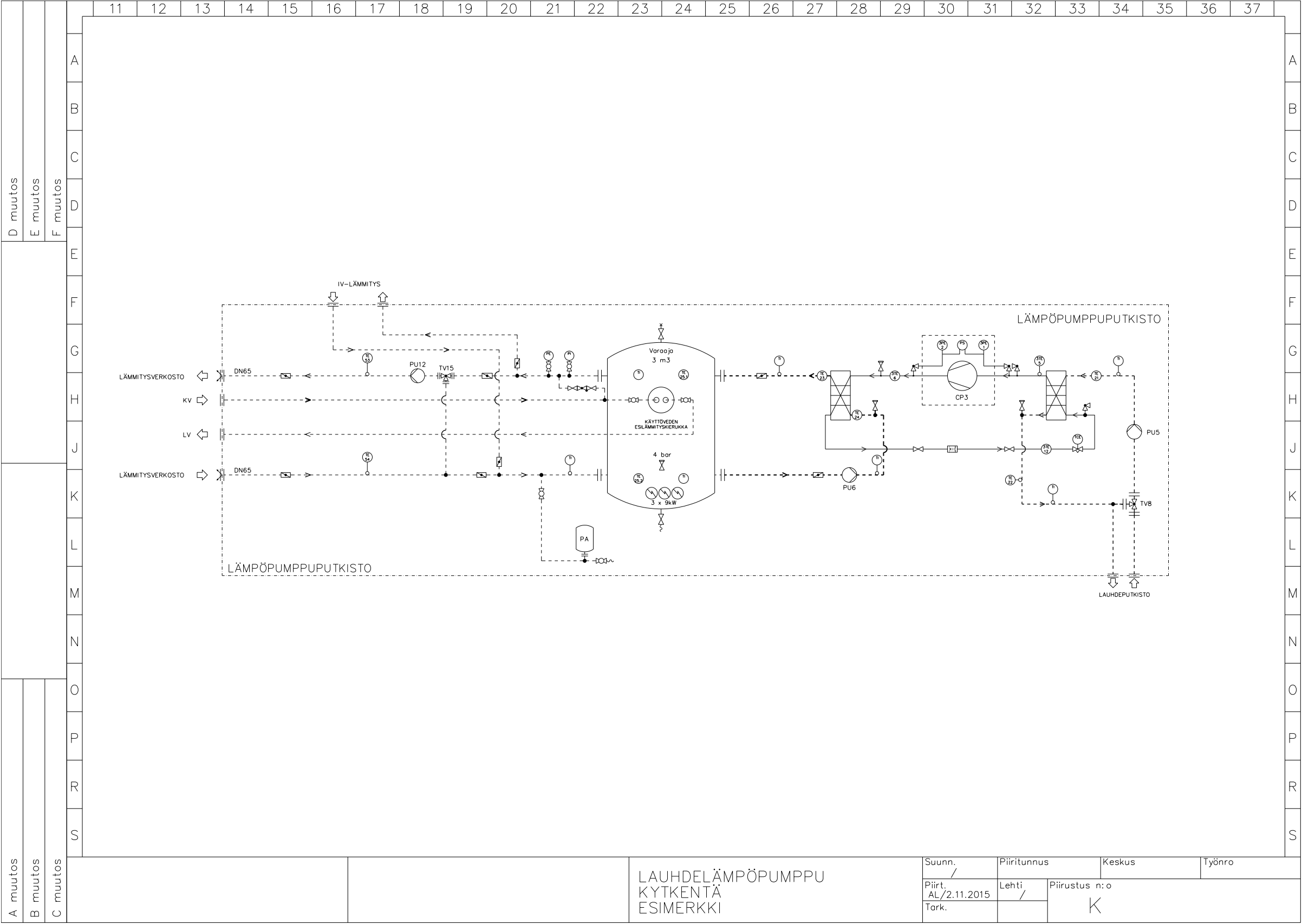
COP COP – tosi on?. Ei päiväystä. Suomen lämpöpumppuyhdistys. [Verkojulkaisu]. [Viitattu 31.10.2015]. Saatavilla : http://www.sulpu.fi/uutiset/-/asset_publisher/WD1ExS3CMra3/content/cop-cop-tosi-o-1

Suomen Tekojää Oy. 2015. Henkilöhaastattelut.

Bitzer. Ei päiväystä. Bitzer software. [verkko-ohjelma]. Bitzer company. [Viitattu 7.11.2015]. Saatavana: <https://www.bitzer.de/websoftware/Default.aspx>

LIITTEET

LIITE 1. Lauhdelämpöpumpun kytkentä lämmitysjärjestelmään. Putkikaavio esimerkki.



LIITE 2. Lauhdelämpöpumpun kytkentä lämmitysjärjestelmään. Putkikaavio esimerkki 2.

